

## ピアノ練習室内音場の制御に関する研究

著者	富士田 隆志
号	7
発行年	1998
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/13038">http://hdl.handle.net/10097/13038</a>



可動吸音衝突により吸音面の配置パターンを変えて、10名の被験者のピアノ実演奏による音場の主観的評価を行った。その際、使用楽器であるグランドピアノの物理的な大きさを考慮したときの、ピアノ奏者に対する一次反射音に着目し、その一次反射音の発生に寄与する部位を含む面に吸音／反射の変化を与えた。その結果、奏者の後方壁面の一次反射音に寄与する面は、音質、低音／高音のバランスの点から、吸音性が好ましい、また、前方壁面のそれは、音の広がり感を求める場合は吸音性とするのがよい、一方、右壁面のそれは、奏者の音量感に対する好みと練習目的により、吸音性が反射性かが決められる、さらに、左壁面に関しては特に考慮する必要がない、ということが分かった。

第3章と第4章は、能動制御による望ましいピアノ練習室内音場の実現について、建築的条件との関連から捉えたものである。

第3章では、まず能動制御に用いた電気音響システムについて述べた。ここで使用したシステムは、マイクロホンで収音したピアノ演奏音を信号とし、DSP (Digital Signal Processor) による反射音合成装置を用いて多数本の反射音の4チャンネル畳込み演算を行い、室内天井4隅のスピーカから再生出力するものである。このようなデジタル信号の処理は、ホームシアター、カーオーディオなどにおいて、AV (Audio and Visual) 用の再生システムとして実用化されているものと同じ原理から成るが、ピアノ練習室内音場の能動制御として用いる場合は、マイクロホンで収音されたピアノ演奏音を同一室内のスピーカから再生するために、ハウリング現象が発生する点が大きく異なる。従って、このハウリングを前提としたときに、音場の制御がどの様に行われるかを調べた。具体的には、ハウリングマージンとして6dB, 10dB, 20dB,  $\infty$  dB (電気音響を使用しない状態) の計4レベルにおいて音場の能動制御の効果がどの様に変化するかを調べた。特に、本研究では、能動制御と室との関連に着目し、5畳、10畳、15畳相当の、広さの異なる3室を対象として、室の広さによる音場効果の違いを調べた。7名の被験者による主観的評価の結果、音場効果の程度には、室の広さの寄与は小さく、ハウリングマージンによりかなり制御できることが分かった。また、ハウリングマージンは、再生反射音と直接音のレベル差である  $RD$  比に置き換えられることから、ここで得られた結果は、AV ルームなど収音系を持たない空間の音場の能動制御にも適用できると考えられる。さらに、本章に示した再生音場で見られるように、残響減衰曲線に大きな折れ曲がりを生じる音場を評価する物理パラメータとして、初期減衰部分を含む残響時間 ( $RT$ ) や、聴感上の直接音の積分評価時間を80ms、あるいは直接音 (生音) から再生反射音部分へ移行する時刻 ( $T_i$ ) とするクラリティ ( $C$ ) などが重要であることを示した。

第4章では、能動制御の効果と室内吸音との関連性について述べた。ここでは、室を10畳相当の広さとし、その室内吸音の程度を変化させた場合の音場の能動制御の効果を調べた。室内吸音の変化は壁及び天井面の吸音パネルによって行い、 $\bar{\alpha}$  として0.45, 0.35, 0.25, 0.15の4水準に設定した。また、音場再生のレベルはハウリングマージンにより6dB, 15dB,  $\infty$  dB の3水準に設定した。以上の組み合わせによる12種類の音場におけるピアノ演奏音を、ダミーヘッド録音した。7名の被験者がヘッドホン聴取により主観的評価したデータを、多次元尺度構成法により分析した結果、 $\bar{\alpha}$  が0.25以下の場合、音場付加することにより、付加した音場に基づく残響感の増大などの効果と共に、室内吸音の程度も小さくなる感覚が生じるのに対して、0.35以上の場合、室内吸音の程度に対する感覚はそのまま、音場付加の程度に追従した音場効果が現れた。したがって、 $\bar{\alpha}$  が0.35以上であることが音場付加の効果を容易にする一条件であると考えられる。次に、これら12種類の音場について、ピアノ練習室として適しているかどうかの判断を求める実験を、ヘッドホン聴取により行った。ピアノ練習に関する経験や環境の異なる13名の被験者の判断の結果を集団構造分析したところ、自宅での普段の練習用としての判断について、被験者は大きく2つの集団に分かれた。この2つの集団は、適さないとする音場についての評価を異にしているが、 $\bar{\alpha}$  が0.35以上の条件で少量の音場付加をした場合は、両集団とも適するという高い評価を示した。一方、ホールでの演奏を想定した練習用としての判断は、概ね残響感や広がり感の判断と相関があり、室内吸音の程度に関わりなく音場付加の程度が大きいほど評価が高くなる傾向を示した。さらに、室内吸音の程度と音場付加の効果に関して、ピアノの実演奏状態で判断を求める実験を行った。室内吸音の程度を3水準、音場再生のハウリングマージンを6水準とし、6名の被験者が主観的評価をした。その結果は、ヘッドホン聴取による場合と概ね同様の傾向を示したが、自宅での普段の練習用の音場については、奏者の室の響きに対する好み強く反映された。すなわち、デッドな音場を好む奏者は、室内吸音の程度が多い状態で、音場付加が少量を良しとし、ライブな音場を好む奏者は、室内吸音の程度が小さい状態で、音場付加が多量を良しとした。また、ライブな音場を好む奏者にとっては、自宅での普段の練習用と、ホールでの演奏を想定した練習用の音場は、同じ設定で対応できる可能性のあるこ

とが示された。このように、反射音合成による能動制御においても、奏者の響きに対する好みは音場の評価に影響を与えることが分かった。

最後に、第5章では、結論として総括を行った。すなわち、本研究により、ピアノ奏者には室の響きの程度に関して、響きの少ない、デッドな音場を好む奏者と、響きの多い、ライブな音場を好む奏者の2つのタイプがあることが確認された。これは、自宅での普段の練習の場合に特に強く現れ、ホールでの演奏を想定した練習の場合には、あまり現れない。つまり、室の響きに対する好みの差異は、奏者各個人の、これまで受けた教育や練習の状況、演奏の経験、普段の練習の環境などによるものと考えられる。一方、ホールでの演奏を想定した練習については、各奏者とも、ホールでの音場に対するイメージをほぼ共通に有しているために、大きな差異を生じていないものとみられる。従って、望ましいピアノ練習室内音場は、練習目的と奏者の響きの好みを考慮して設定する必要がある。

建築的手段で練習用としての音場を実現する場合、設定されるべき $\bar{\alpha}$ は、奏者の、室の響きに対する好みにより、およそ0.28から0.35の範囲となるが、奏者の好み不明、あるいは、不特定の奏者に対応する場合には、0.3程度とするのが適当である。また、この時の、グランドピアノに対する壁の吸音面配置の在り方について、第2章で指針を示した。

一方、反射音合成による能動制御によって音場を実現する場合、 $\bar{\alpha}$ の設定は、やはり上記の範囲が目安となるが、能動制御の効果を容易にするという点からは、音を聴取する状況において特に、 $\bar{\alpha}$ は0.35程度以上が望ましい。また、能動制御における音場付加の程度については、自宅での普段の練習の場合は、奏者の好みにより設定を変えるのが望ましく、ホールでの演奏を想定した練習の場合には、ハウリングマージンを $\infty$  dB から6dB までの範囲内で、できる限り小さく設定するのがよい。さらに、本研究により、電気音響技術を用いた反射音合成による音場の能動制御が、自宅での普段の練習、ホールでの演奏を想定した練習、いずれにおいても練習用の音場に対して効果的であることが確認された。特に、ホールでの演奏を想定した練習に対しては、奏者の響きの好みによらず高い評価を得た。

本研究の結果は、望ましいピアノ練習室内音場の実現に対して、建築的手段による場合の具体的な指針を与えると共に、電気音響技術を用いた能動制御による場合の基礎的資料を示した。これらは、従来、十分には明確にされていなかった分野であるピアノ練習室内音場の制御に関する新しい知見であり、ピアノ練習室の実際の音場設計に有用なものとなるほか、今後の音場制御技術の発展に対して少なからず寄与するものであると考える。

## 論文審査の結果の要旨

近年におけるピアノの普及には目覚ましいものがあるが、我が国では、住宅事情に起因する近隣騒音問題の点から、自宅では思うように練習できないという悩みがあった。これに対応するため、著者は、既設の住宅の中に組み立てて使用できるピアノ練習室の開発に当たってきたが、練習室を必要とする人の中には、専門のピアニストやピアノ教師、ピアニストを志す学生が多いことから、遮音だけでなく、室内の音場を適切に制御することが求められていた。本論文は、建築的手段と信号処理技術を用いた電気音響的手段によって、グランドピアノを対象とする望ましいピアノ練習室内音場を実現するために行ってきた研究の成果をまとめたもので、全編5章よりなる。

第1章は、序論である。

第2章では、建築的手段による望ましいピアノ練習室内音場の実現のため、床面積の異なる3室において、室内平均吸音率をパラメータとし、ピアニストと声楽家による音場の評価実験を行った。その結果、彼験者は、デッドな音場を好むグループとライブな音場を好むグループに分けられ、前者に最適な室内平均吸音率は0.35、後者に最適な平均吸音率は0.28であることが明らかとなった。また、吸音面の配置についても検討を行い、奏者から見て、右壁面の特性が重要であることが示された。これは、ピアノ練習室の基本的な要件を明らかにしたものであり、重要な知見である。

第3章では、信号処理技術を応用した室内音場制御システムを構成し、音場の物理的特性と主観的評価の対応を詳細に検討している。その結果、物理パラメータとしては、音場における反射音対直接音のレベル比と残響減衰曲線の形状が重要であり、これらは制御系のハウリングマージンによって適切に制御し得ることを示している。これは、実用上、有用な成果である。

第4章では、能動制御の効果と室内吸音の関連について研究している。室内の平均吸音率と電気音響系のハウリングマージンを変化させて音場を多次元評価した結果、吸音率が0.25以下の場合には音場付加量の増大に伴って吸音感が減少するのに対し、0.35以上の場合には、音場付加の効果がそのまま現れることが明らかとなった。これは、音場付加を効果的にするための条件を示すものとして重要である。さらに、ピアノ練習室としての適否判断は、2つの集団に分れたが、平均吸音率が0.35以上の条件で少量の音場付加をした場合は、いずれの集団においても適するという高い評価を得た。一方、ホールでの演奏を想定した練習用としての適否判断では、残響感や広がり感と関連して、吸音率によらず音場付加の程度の大きい方が評価が高かった。これより、練習室内音場の能動制御を容易にするためには、平均吸音率を0.35程度にすればよいことが明らかとなった。これは、能動制御を前提とするピアノ練習室の音響設計に指針を与えるもので、有用な知見である。

第5章は、結論である。

以上要するに、本論文は、自宅内に設置して使用するピアノ練習室内音場の望ましい条件を、建築的手段による音場制御と、信号処理手法を用いた電気音響的手段による音場制御の双方について、詳細に研究し、ピアノ練習室の設計指針を与えたもので、システム情報科学および建築音響学の進展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は、博士（情報科学）の学位論文として合格と認める。